

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СПЛАВОВ AL–SI–MG ОПЫТНОЙ ЛИГАТУРОЙ AL–TI–ZR

Изучено влияние на макро и микроструктуру сплава Ал9 комплексных добавок (Ti+Zr), вводимых с опытной лигатурой Al–0,55%Ti–0,68%Zr, в количестве от 0,05 до 0,30 мас.%. Зародышеобразующая фаза опытной лигатуры характеризуется кубической решеткой, идентичной решетке матрицы модифицируемого сплава. Исходный сплав имеет крупное зерно размером от 1 до 1,5 мм. Значительное, на порядок величины, измельчение зерна и уменьшение в 10–30 раз хрупких эвтектических выделений достигается при содержании в сплавах 0,22 % (Ti+Zr). Оценка устойчивости эффекта измельчения зерна сплава Al–6%Si–0,25 %Mg, модифицированного опытной лигатурой Al–Ti–Zr, показала перспективность ее использования: измельчение зерна сохраняется неизменным в течение 3,5 ч выдержки расплава с лигатурой при 700–720 °С.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы, алюминиды, тройная лигатура, измельчение зерна, кубические решетки.

Influence of complex additives from 0.05 till 0.30 % (Ti+Zr) entered with experimental master alloy Al–0.55%Ti–0.68%Zr on macro and microstructure of Ал9 is studied. The nucleating phase of master alloy is characterized by the cubic lattice identical to the alloy matrix lattice. An initial alloy has large grains from 1 to 1.5 mm in size. Considerable grain size refinement, on the order of magnitude, and decrease of eutectic phase precipitates at 10-30 times is reached at the 0.22% (Ti+Zr) in alloys. The estimation of grain size refinement stability of Al–6%Si–0.25%Mg alloy modified by a experimental master alloy Al–Ti–Zr showed availability of its use: grain size refinement remains invariable within 3.5 hour of retention interval with a master alloy at 700–720 °С.

Key words: aluminum alloys, aluminides, ternary master alloy, refining grain, cubic lattices.

Сплавы системы Al–Si служат основой для большинства алюминиевых композиций, широко применяемых как конструкционные материалы для фасонного литья в авиастроении, транспорте, строительстве и других отраслях промышленности. В связи со структурными особенностями литых сплавов Al–Si–Mg – наличия грубых хрупких включений кремния, эвтектики и интерметаллических фаз – прочностные характеристики сплавов невысоки и особенно низка пластичность [1]. Для улучшения струк-

туры и механических свойств сплавы системы Al–Si модифицируют [2]. В данной работе рассмотрено влияние на структуру сплава Al–Si–Mg малых от 0,05 до 0,3 %² добавок Ti+Zr, вводимых с опытными лигатурами Al–Ti–Zr. Полученные в ИМЕТ УрО РАН лигатурные сплавы Al–Ti–Zr [3] имеют характерные для алюминидов Al_3Sc и комплексных алюминидов скандия с цирконием $Al_3(Sc_{1-x}Zr_x)$ формы роста и имеют кубическую решетку структурного типа $L1_2$, идентичную решетке α -Al. Структурный тип $L1_2$ алюминидов $Al_3(Zr_xTi_{1-x})$ в опытных лигатурах разного состава определен с помощью рентгеноструктурного анализа.

Характерное распределение в опытных лигатурах алюминидов и формы их роста можно видеть на рис. 1 на примере сплава Al–0,83%Ti–0,89%Zr.

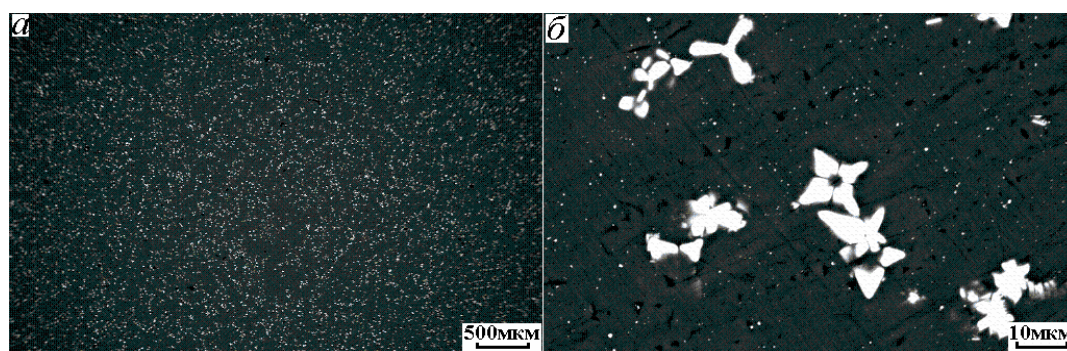


Рис. 1. Общий вид лигатуры Al–0,83%Ti–0,89%Zr (а)
и формы роста алюминидов $Al_3(Ti_{0,6}Zr_{0,4})$ (б)

Оценку модифицирующей способности опытных лигатур проводили на сплавах Ал9 и Ал9м (система Al–Si–Mg). Для этого в сплавы вводили лигатуру состава Al–0,55%Ti–0,68%Zr в расчете на получение в них от 0,05 до 0,3 % (Ti+Zr). Исходный сплав Ал9 характеризуется крупным размером зерна от 1 до 1,5 мм. Значительное измельчение зерна и эвтектических выделений было получено при достижении в сплавах более 0,22 % (Ti+Zr), зерно измельчается на порядок величины и составляет 110–150 мкм. Кроме того, в 10–30 раз уменьшается размер хрупких эвтектических выделений. Макро и микроструктура сплава Ал9 до и после модифицирования лигатурой Al–0,55%Ti–0,68%Zr в расчете на 0,25 % (Ti+Zr) приведена на рис. 2.

² Здесь и далее в мас. %

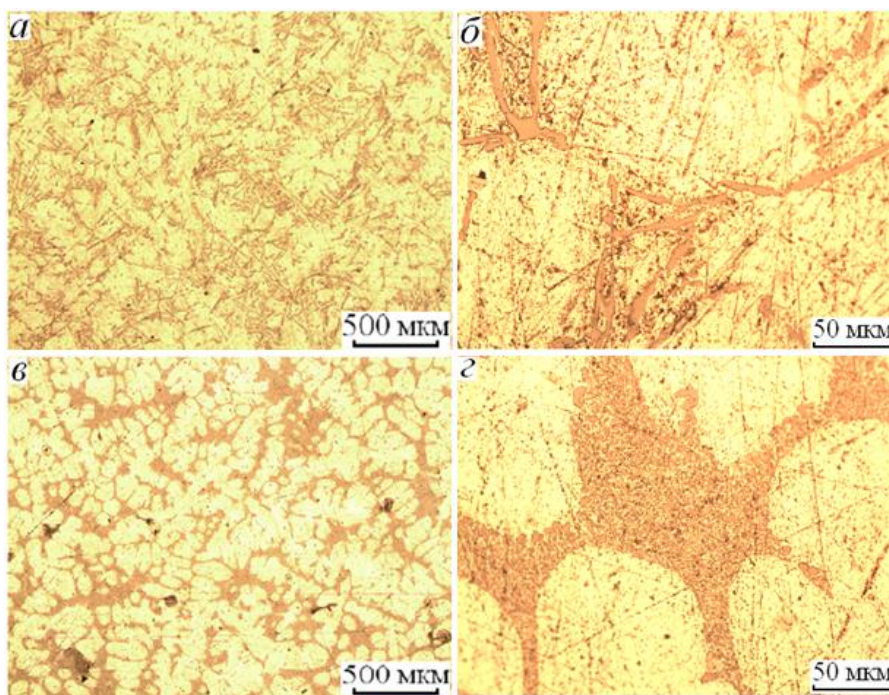


Рис. 2. Структура сплава Ал9 до (а, б) и после (в, г) модифицирования 0,25%(Ti+Zr) с лигатурой Al–0,55% Ti–0,68% Zr

Одним из главных технологических параметров, оцениваемых при использовании лигатуры, является ее живучесть, т. е. устойчивость эффекта измельчения зерна модифицируемого сплава в процессе выдержки его с лигатурой в жидком состоянии. Для этого используется метод отбора проб по ходу выдержки и определения размера зерна сплава. Живучесть лигатурного сплава Al–0,55% Ti–0,68% Zr изучали на сплаве Al–6% Si–0,25% Mg, лигатуру вводили в расчете на 0,22%(Ti+Zr). Пробы отбирали через каждые полтора часа, начиная с 30 мин. проведения эксперимента в течение четырехчасовой выдержки расплава с лигатурой. Зависимость размера зерна сплава от длительности выдержки расплава с лигатурой приведена на рис. 3. Для сравнения здесь же приведены результаты определения живучести этой же лигатуры, проведенные на сплаве Al–4% Cu, но лигатура была введена в расчете на 0,5%(Ti+Zr). Видно, что поведение лигатуры в разных сплавах отличается незначительно: через ~1,5 часа для сплава Al–6% Si–0,25% Mg и через 1 час для сплава Al–4% Cu наблюдается максимальное измельчение зерна, которое сохраняется неизменным до конца эксперимента. Различие только в степени измельчения зерна, определяемое количеством введенных переходных металлов (Ti+Zr): в сплаве Al–6% Si–0,25% Mg оно составляет 140 мкм, в сплаве Al–4% Cu – 45 мкм.

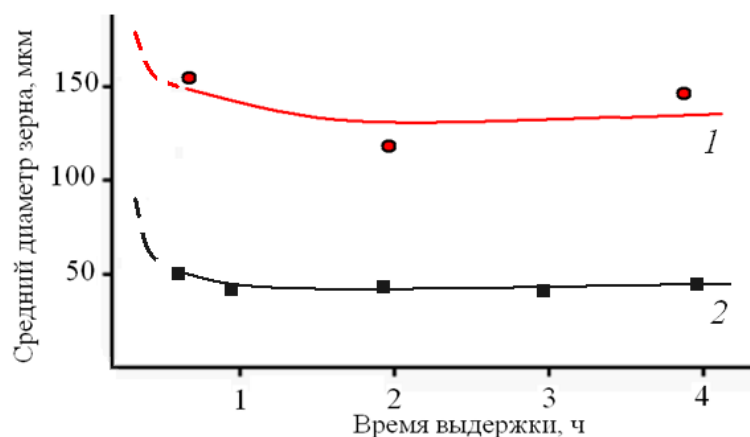


Рис. 3. Зависимость среднего размера зерна сплавов Al-6%Si-0,25%Mg (кривая 1) и Al-4%Cu (кривая 2) от времени выдержки расплавов с опытной лигатурой Al-0,55%Ti-0,68%Zr при 700–720 °С

Таким образом, проведенные эксперименты показали высокую модифицирующую способность опытной лигатуры Al-Zr-Ti: зерно сплавов Ал9 и Ал9м измельчается на порядок величины, а размер хрупких эвтектических выделений уменьшается в 10–30 раз. Опытные лигатуры Al-Zr-Ti характеризуются высокой устойчивостью модифицирующего эффекта: измельчение зерна сохраняется неизменным в течение 3,5-часовой выдержки расплава Al-6%Si-0,25%Mg с лигатурой при 700–720 °С.

Список литературы

1. Ганиев И. Н. Модифицирование силуминов стронцием / И. Н. Ганиев, П. А. Паркутник, А. В. Вахобов, И. Ю. Куприянов. Минск: Наука и техника, 1985. 143 с.
2. Shahrooz Nafisi, Reza Ghomashchi / Boron-based refiners: Implications in conventional casting of Al-Si alloys. Materials Science and Engineering. 2007. А 452–453, 445–453 p.
3. Попова Э. А. Лигатурные сплавы Al-Ti-Zr, особенности их структурообразования / Э. А. Попова, А. Б. Шубин, П. В. Котенков и др. // Металлы. 2012. № 3. С. 3–8.